

論文

[1148] 寒冷地の既設コンクリート橋梁の劣化度調査

近藤 純司*1・輿石 逸樹*2・斉藤 啓一*3・米内 昭夫*4

1. はじめに

コンクリート構造物の劣化現象については、これまで様々な研究がなされている。また、実土木構造物の劣化に関する調査についても、色々な報告がなされている。寒冷地における調査はあまり多くはないが、道路構造物については藤原らの研究が、鉄道構造物については斉藤らの研究がある [1] [2]。今回、東北地方北部の約 130km区間の鉄道既設コンクリート橋梁構造物の劣化について、調査を行ったので、その結果を報告する。

2. 調査概要

今回調査を行った構造物は、東北地方北部の約 130kmの区間内のコンクリート構造物で、橋梁のみを対象とした。調査区間の概要を図-1に示す。本区間は寒冷地に分類されるが、東北地方の内陸部を起点とし、山岳地帯を通過し、日本海側の平野部に至るため、途中で気象条件が特に厳しい区間を含んでいる。

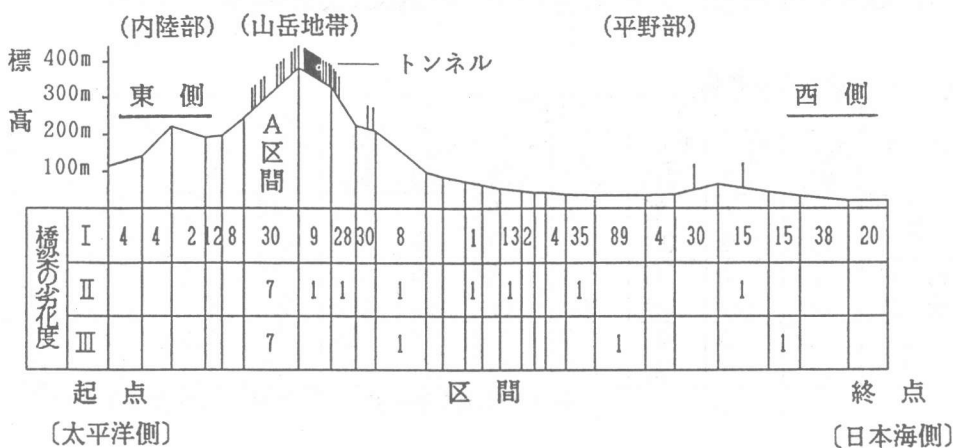


図-1 調査区間の概要ならびに橋梁の劣化度と区間別の数量

調査は、概略調査と詳細調査とに分けて行った。概略調査とは、保存されていた設計図書類により、当該区間の橋梁諸元や建設年度等を調べることと、区間全域の橋梁について、構造物の劣化度等を目視により調査したものである。

詳細調査とは、接近可能な桁のうち、スラブ桁とラーメン橋について、コンクリートの中性化深さ、鉄筋のかぶりや腐食の程度、シュミットハンマーによるコンクリート強度等を調査したも

*1 東日本旅客鉄道(株)東北工事事務所工事管理室課員 (正会員)

*2 東日本旅客鉄道(株)東北工事事務所工事管理室課長代理

*3 東日本旅客鉄道(株)東北工事事務所工事管理室係長 (正会員)

*4 東日本旅客鉄道(株)東北工事事務所工事管理室主席

のである。

劣化度の区分を表-1に示す。

表-1 コンクリートの劣化状態と区分

劣化度	状 態
I	施工時の状態に近く、特に変状のないもの。軽度の剥落
II	中度の剥落（凍害・中性化等により粗骨材の損失、深さ50mm未満）
III	重度の剥落（凍害・中性化等により粗骨材が容易に剥落、深さ50mm以上）

3. 概略調査

3.1 橋梁の諸元

設計図書類により調査した結果、調査区間内のコンクリート造の橋梁（径間が1m以上のもの）は、桁で214連、橋台・橋脚で211基であった。

桁とは単版桁、単T桁、アーチ、ボックス桁、ラーメン、H形鋼埋込桁、レンガ造アーチをいう。大半は鉄筋コンクリート造であるが、単版桁と単T桁とボックス桁の中には、一部プレストレストコンクリート造が含まれている。また、レンガ造アーチ9連は、すべて明治40年以前に建設されたものである。橋台・橋脚は、石積み、レンガ造、無筋および鉄筋コンクリート造となっている。橋梁の建設年度による区分を表-2に、桁種別による区分を表-3に示す。

表-2 建設年度別数量

区 分	建 設 年 度										合 計
	M31 M40	M41 T 5	T 6 T15	S 1 S10	S11 S20	S21 S30	S31 S40	S41 S50	S51 H 1	不明	
桁	11 (3)	0 (0)	20 (9)	1 (1)	10 (1)	1 (1)	44 (7)	43 (8)	71 (13)	13 (0)	214 (43)
橋 台 橋 脚	19 (0)	0 (0)	19 (0)	0 (0)	9 (0)	0 (0)	38 (0)	42 (0)	71 (0)	13 (0)	211 (0)
計	30 (3)	0 (0)	39 (9)	1 (1)	19 (1)	1 (1)	84 (7)	85 (8)	142 (13)	26 (0)	425 (43)

上段は概略調査箇所数、()内は詳細調査箇所数を示す。

表-3 桁種別数量

単版桁	単T桁	アーチ	ボックス 桁	ラーメン	レンガ アーチ	H形鋼 埋込桁	合 計
58 (23)	33 (0)	17 (0)	10 (0)	84 (20)	9 (0)	3 (0)	214 (43)

上段は概略調査箇所数、()内は詳細調査箇所数を示す。

また、桁で支間の概念がある単版桁、単T桁、ボックス桁、H形鋼埋込桁での、支間による区分を表-4に示す。

表-4 支間別数量

1~3m	3~5m	5~10m	10~20m	20~40m	合 計
35 (15)	6 (4)	26 (3)	19 (1)	16 (0)	102 (23)

上段は概略調査箇所数、()内は詳細調査箇所数を示す。

3. 2 外観による調査

大部分の橋梁は、施工時の状態に近く、健全な状態を保っていたが、構造物の表面が剥落し、かなり劣化が進んでいるものも認められた。区間と橋梁の劣化度との関係を図-1に示す。

これより劣化度がⅡ、Ⅲと判定された、劣化が進んでいる橋梁は、図中の山岳地帯で標高が高く、東側の斜面となっている区間（A区間）で集中している結果となった。このA区間に着目し、橋梁の劣化原因について検討を行った。

その結果、橋梁の桁幅と劣化度の間に特に関連が認められた。A区間内の橋梁で、桁幅と劣化が生じている橋梁の占める割合との関係を図-2に示す。

これより、桁幅が増加すると劣化が生じている橋梁の占める割合も増加することが分かる。桁幅が10mを越える橋梁を調べると、すべて図-3に示すような、橋台の上に単版桁がかかっているか、あるいはラーメン構造となっており、沢からの水が通る短スパンの橋梁で、かつ橋梁上は盛土となっていた。また、劣化は、ほとんど下流側の出口の部分に発生していた。劣化状態を写真-1に示す。劣化原因は凍害によるものと思われる。

このような部分に凍害が多く発生するのは、山岳地帯で気象条件が厳しく、沢から水が供給されることに加えて、盛土からも雨水等が継続して供給されるためであると考えられる。

次に、経年と橋梁の劣化との関係を図-4に示す。昭和31年から昭和40年の数量には、山岳地帯の橋梁を多く含んでいるので、劣化のある橋梁の割合が多いが、おおむね経年とともに劣化した構造物の占める割合が増えている

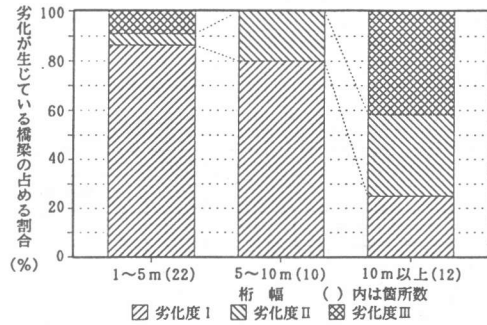


図-2 桁幅別の劣化が生じている橋梁の占める割合

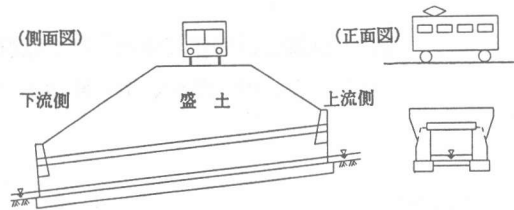


図-3 桁幅が10mを越える橋梁の構造

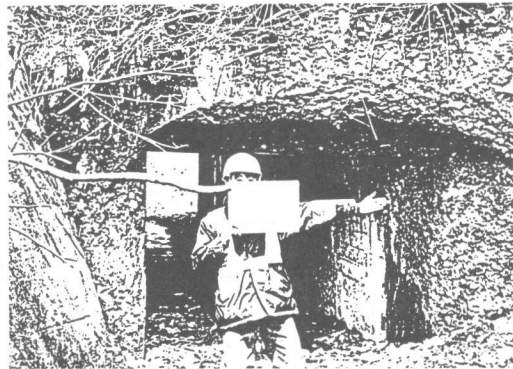


写真-1 劣化の進んだ橋梁

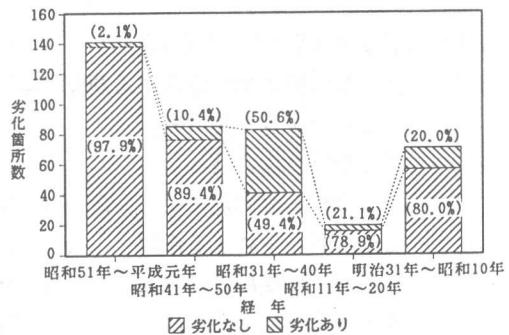


図-4 経年別の劣化箇所数

のが分かる。また、橋梁の部位の説明を図-5に、橋梁の劣化している部位による区分を図-6に示す。

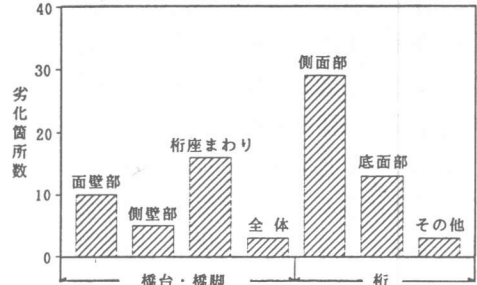
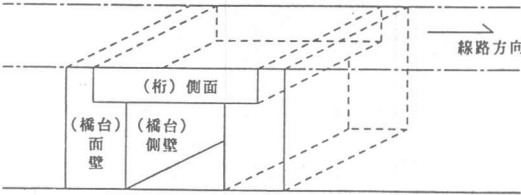


図-5 橋梁の部位

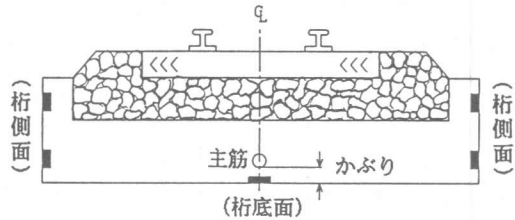
図-6 部位別の劣化箇所数

これより、橋台・橋脚では桁座部分に、桁では側面部に多く劣化が発生している。なお、桁の側面部でも、バラスト止めの上部や、桁の底面と側面との隅角部に特に凍害による劣化が多く認められた。

4. 詳細調査

4. 1 コンクリートの中性化深さ

中性化深さは、図-7に示す桁の側面8箇所、底面1箇所の計9箇所をはつり、フェノールフタレイン1%アルコール溶液を噴霧し、その時の着色状況により中性化を判定し、深さを測定した。底面では、主筋のかぶりおよび鉄筋の腐食状況を同時に調査した。側面についてはさらに桁側面上部、桁側面下部に分けて整理した。



(桁側面は桁の始終点に2箇所ずつ計8箇所)

図-7 測定位置(黒ぬりの位置)

図-8に経年と中性化深さについて

の調査結果を示す。なお、白山式による計算結果も図中に示す[3]。白山式と計算に用いた各係数の値を以下に示す。

$$t = \alpha \beta \gamma \delta \varepsilon 5000 C^2 / (X - 38)^2 \dots\dots\dots (1)$$

ここで t : C位置まで中性化する期間(年)

X : 水セメント比(%)

C : 中性化深さ(cm)

α : 骨材・混和剤による係数 (1: プレーン)

β : セメントによる係数 (1: 普通ポルトランドセメント)

γ : 施工程度による係数 (1: 普通)

δ : 仕上げによる係数 (1: 普通)

ε : 室内外による係数 (1.3 : 室外・地方)

また、水セメント比Xは、50、55、60%の3つのケースについて、計算した。今回の調査区間の橋梁では、約90年経過したものでも、中性化深さはおおむね15mm以下となっており、中性化が特に進んでいない。また、部位別では、桁底面は桁側面より中性化深さが大きい傾向にある。これは、雨水の影響によるものと考えられる [3]。

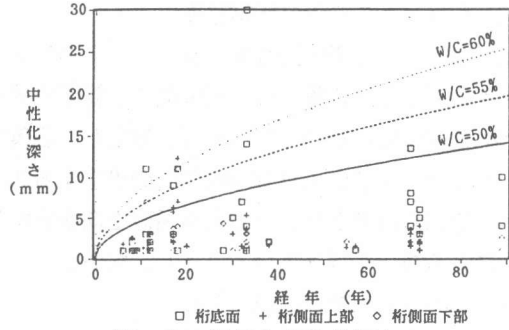


図-8 経年と中性化深さ

4. 2 鉄筋調査

鉄筋の調査は、図-7に示す桁の底面において、主筋のかぶりおよび鉄筋の腐食状況を測定した。なお、鉄筋の腐食段階は、

表-5 鉄筋の腐食段階 [4]

腐食度	鉄筋の腐食段階 [4]
A	錆がほとんど認められない。
B	部分的に点食を認める。
C	大部分が赤錆に覆われている。
D	亀裂、打継ぎなどに局所的な断面欠損あり。
E	層状の錆の膨張力により、かぶりコンクリートを持ち上げる。

表-5に示すような5段階に区分した [4]。図-9、10にそれぞれ主筋のかぶり、中性化深さの分布状況を示す。

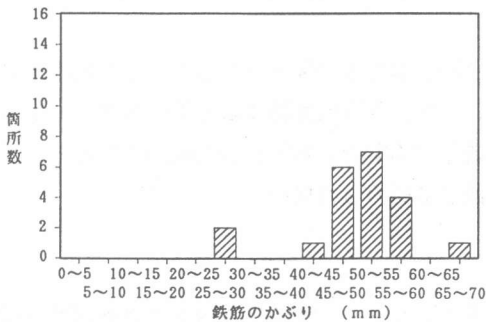


図-9 主筋のかぶりの分布状況

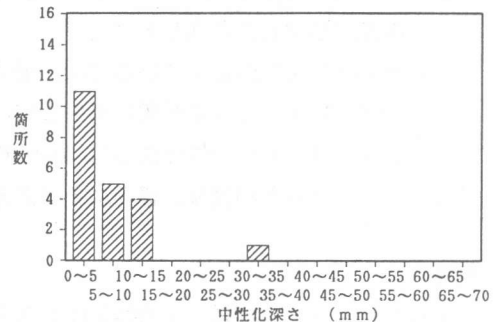


図-10 中性化深さの分布状況

図より、主筋のかぶりは25~70mm程度に分布しており、平均では50mm程度であった。また、中性化深さは0~30mmに分布し、平均で6mm程度であった。鉄筋のかぶりから中性化深さを差し引いた値と鉄筋の腐食段階との関係を図-11に示す。

これより、鉄筋の位置まで中性化が進んでいないものは、鉄筋の腐食が認められなかった。

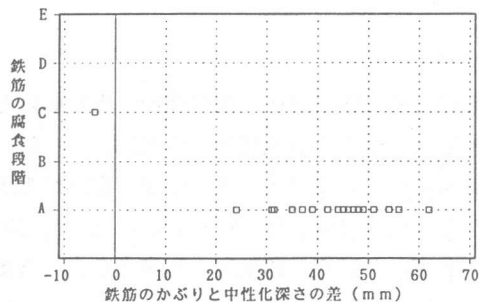


図-11 かぶりと中性化深さの差と鉄筋の腐食段階

4. 3 コンクリートの圧縮強度

コンクリートの圧縮強度を、シュミットハンマーにより調査した。調査は、図-7に示す中性化深さを測定した位置とはほぼ同位置の9箇所の周辺で行っている。測定方法は、コンクリートの表面を砥石で磨いたのち15打点以上測定し、極値を除いた10打点の測定値の平均を反発硬度（R値）とした。R値から日本材料学会の提案する式により、コンクリート強度を推定した〔4〕。なお、桁底面の測定は打点方向が鉛直上向きとなるので、その影響を補正した。更に、構造物の経年による補正を行っている〔4〕。なお、材令が3000日以上では0.63とした。

経年と強度の関係を図-12に示す。これよりコンクリート強度の平均は、桁側面上部で196kgf/cm²、桁側面下部で204kgf/cm²、桁底面で236kgf/cm²となり、桁底面の強度は他に比べると2割程度大きな値となっている。また、コンクリート強度は、経年による大きな低下は認められない。

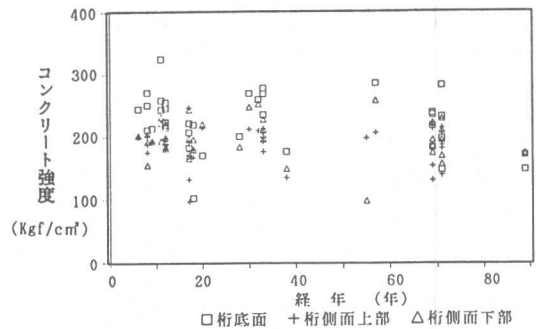


図-12 経年とコンクリート強度

5. まとめ

今回の調査によって得られた主な結果を以下に述べる。

- (1) 東北地方北部の寒冷地におけるコンクリート橋梁構造物の大部分は、施工時の状態に近く、健全な状態を保っていた。
- (2) 山岳地帯で標高が高く、東側の斜面となっている区間（A区間）で、劣化が進んでいる橋梁が集中して存在していた。
- (3) A区間で劣化が進んでいるのは、桁幅が10mを越える、図-3に示すような橋梁上に盛土が構築されている橋梁に集中していた。また、原因は凍害による劣化であった。
- (4) コンクリートの中性化深さは、約90年経過した橋梁で、おおむね15mm以下であった。
- (5) コンクリート強度は、経年による大きな低下は認められない。

〔謝辞〕

本調査にあたり、東日本旅客鉄道(株)盛岡土木技術センター、大曲工務区および秋田土木技術センターの皆様方に御協力頂いた。また、まとめにあたり、東京工事事務所石橋忠良様の御指導を頂いた。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 藤原忠司・帷子國成・河村廣次：道路橋におけるコンクリートの凍害とその防止に関する構造細目、土木学会論文集、No.453、VI-17、pp.97～106、1992.9
- 2) 齊藤俊樹・石橋忠良・米内昭夫：寒冷地の既設RC橋梁構造物の劣化度調査、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.11、No.1、pp.505～510、1989.
- 3) 岸谷孝一・西澤紀昭他編、和泉意登志・喜多達夫・前田照信著：中性化、技報堂出版、pp.32～39、1986.8
- 4) 木村敬三：RC建築物のコンクリート強度と耐久性、鹿島出版会、pp.45～48、122、1981.12